

# Vitalitätserfassung von Fichten mittels Fernerkundung

Die Vitalität vieler Baumarten ist durch den Klimawandel und die damit einhergehenden Wetteränderungen stark gefährdet. Der Bedarf an kostengünstigen Methoden zum großflächigen Monitoring von Waldflächen ist deshalb von großer Bedeutung. Im Projekt VitTree der Bayerischen Forstverwaltung wurde von einem Projektteam aus BOKU Wien, DLR, BaySF, ÖBf und LWF untersucht, in welchem Ausmaß und ab welchem Zeitpunkt Vitalitätsveränderungen von Bäumen mithilfe von Fernerkundungsdaten erfasst werden können.

Das Ziel dieser neuen Methoden ist eine möglichst frühzeitige Erkennung von Veränderungen, idealerweise noch bevor diese für das menschliche Auge im Gelände erkennbar sind.



Foto: M. Immitzer

Abb. 1: Aufnahme des untersuchten Fichtenbestands, der künstlich geschwächt wurde. Die geringelten Bäume sind rot und die Kontrollbäume blau nummeriert.

Markus Immitzer, Kathrin Einzmann,  
Nicole Pinnel, Rudolf Seitz, Clement Atzberger

Vor allem die Zunahme von Extremwetterereignissen steigert den Schadholzanfall in unseren Wäldern. Windwurfereignisse, Schneebruch oder Trockenstress führen immer wieder zu großen Schäden bzw. verringern die Vitalität von Bäumen direkt oder bewirken eine gesteigerte Anfälligkeit für Schädlinge wie Borkenkäfer. Um das Schadausmaß in Grenzen zu hal-

ten, müssen derartige Störungen möglichst rasch erfasst und aufgearbeitet werden. Ein großflächig anwendbares Monitoring des Vitalitätszustandes bzw. die Erfassung von Störungen sind deshalb von großer Bedeutung. Vor allem aufgrund der Flächenleistung und der Wiederholrate der Aufnahmen bietet sich der Einsatz von Fernerkundungsdaten für derartige Systeme an. Die in der Forstwirtschaft traditionell eingesetzten Luftbild- bzw. Orthophotodaten, welche in regelmäßigen – aber meist mehrjährigen – Zyklen aufgenommen werden, sind dafür nicht ausreichend geeignet. Neuartige Fernerkundungsdaten (mit größerer Anzahl an Spektralkanälen) bieten im Vergleich oftmals einen höheren Informationsgehalt und sind z. B. nach einem Schadensereignis flexibler einsetzbar bzw. haben eine höhere Wiederholrate der Aufnahmen.

## Das Projekt „VitTree“

Das von der Bayerischen Forstverwaltung initiierte Forschungsprojekt VitTree untersuchte die Fragestellung, inwieweit Fernerkundungsdaten für eine frühzei-

tige Erkennung von Vitalitätsverlusten an Fichten genutzt werden können. Für die Sicherstellung einer optimalen Datengrundlage wurden dazu Fichten durch Ringelung künstlich geschwächt (Abb. 1) und das Reflexionsverhalten der Bäume bzw. deren Nadeln auf die daraus resultierenden Auswirkungen hin untersucht. Von besonderem Interesse war eine frühzeitige Erkennung von Veränderungen der spektralen Signatur wie z. B. ein Anstieg des Reflexionsverhaltens im Bereich des roten Lichtes oder die Abnahme im Bereich des Nahen Infrarotes. Verschiedene Testgebiete wurden dazu mehrmals zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit Fernerkundungssensoren aufgenommen und daraufhin ausgewertet, ab wann Veränderungen detektierbar sind. Die spektralen Bereiche, die besonders sensibel auf Schädigungen reagieren, wurden dabei mit besonderem Augenmerk untersucht. Die hier vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf einen ca. 100-jährigen Fichtenbestand im Forstbetrieb Wasserburg (Altötting/Bayern).

## Schneller Überblick

- Künstliche Schwächung von Fichten durch Ringelung
- Mehrmalige Datenaufnahme wie z. B. Hyperspektraldaten
- Fichten reagieren sehr spät auf die künstliche Schwächung
- Veränderungen in den Fernerkundungsdaten sind früher bemerkbar als im Feld

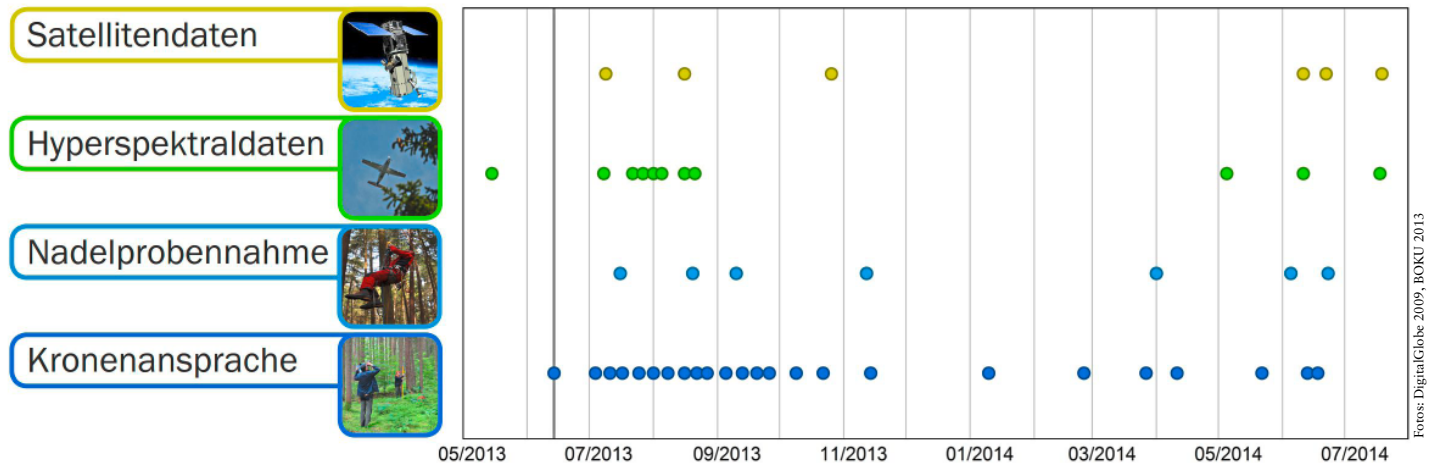


Abb. 2: Übersicht aller Aktivitäten (2013 und 2014) im Untersuchungsgebiet Altötting: terrestrische Kronenansprache, Nadelprobennahme, HySpex-Befliegungen (Hyperspektraldaten), WorldView-2-Aufnahmen (Satellitendaten); die dunkelgraue Linie kennzeichnet den Zeitpunkt der Ringelung.

## Datenerfassung

Die Datenerhebung in den Jahren 2013 und 2014 erfolgte auf unterschiedlichen Ebenen und reichte von der terrestrischen Kronenansprache über die Entnahme von Nadelproben am stehenden Baum bis zur Aufnahme von flugzeuggetragenen Hyperspektral- bzw. multispektralen Satellitenbildern. Eine Übersicht inklusive der zeitlichen Abfolge der Datenerhebung ist in Abb. 2 dargestellt.

Von allen ausgewählten geringelten Bäumen sowie von den Kontrollbäumen wurden ab dem Zeitpunkt der Ringelung Kronenansprachen nach den Kriterien der Kronenzustandserhebung vorgenommen. Es wurde unter anderem Vergilbung, Nadelblattverlust, Fruktifikation und Schädlingsbefall bewertet. Die Kronenansprache wurde im Versuchszeitraum innerhalb der Vegetationsperioden 2013 und 2014 insgesamt 24 mal durchgeführt.

Für die Gewinnung der Nadelproben wurden je acht Bäume aus beiden Gruppen (geringelte Bäume und Kontrollbäume) ausgewählt. Dazu wurden von Baumsteigern pro Baum ein sonnenseitiger Ast mit ca. 1 m Länge zwischen siebtem und zwölftem Quirl entnommen. Die Äste wurden vor Ort in die letzten vier Vegetationsperioden (2010 bis 2013) unterteilt und die Astteilchen gekühlt gelagert. Innerhalb des Versuchszeitraums wurden auf diese Weise sieben Nadelproben genommen. Am Tag nach der Probennahme wurden die Nadeln, getrennt nach Nadeljahrgang, mittels Feldspektrometer unter Laborbedingungen gemessen. Dazu wurde eine contactprobe verwendet [1], die direkt auf der

Nadeloberfläche misst, um möglichst reine Nadelspektren zu erhalten. Das verwendete Feldspektrometer misst die Reflexion im Spektralbereich von 350 bis 2.500 nm.

Die flugzeuggetragenen Hyperspektral- und multispektralen Satellitenbilder wurden mittels zwei Sensoren der Firma HySpex mit insgesamt 416 Bändern und einer räumlichen Auflösung von 0,5 m aufgenommen. Die Spektralbänder erstrecken sich ähnlich wie beim Feldspektrometer über den Spektralbereich von 400 bis 2.500 nm. Das Untersuchungsgebiet wurde vom DLR mit einer Cessna während dem Versuchszeitraum zu elf Zeitpunkten in einer Höhe von ca. 600 m über Grund befliegen.

Die Satellitenaufnahmen erfolgten mittels WorldView-2, einem kommerziellen optischen Satelliten, der räumlich hochauflösende Daten (0,5 bis 2 m) in acht Spektralkanälen liefert, wodurch die Daten ein hohes Potenzial für vegetations-

kundliche Fragestellungen aufweisen [2, 3]. Insgesamt wurden sechs WorldView-2-Aufnahmen des Testgebiets während der Projektlaufzeit akquiriert.

## Auswertungsmethoden

Um die Vitalität der einzelnen Bäume über die Zeit zu analysieren, wurden die gut beleuchteten Baumkronen in den Hyperspektral- und Satellitendaten manuell abgegrenzt und die mittleren Reflexionsspektren der einzelnen Baumkronen extrahiert. Anschließend wurden mehrere mathematische Verfahren (u. a. Ableitungen, Vegetations- und Winkelindizes, Distanz- und Ähnlichkeitsmaße) auf die Baumkronen-, aber auch auf die Nadelspektren angewendet. Diese Merkmale wurden bezüglich ihrer Trennbarkeit mit einem Klassifikationsalgorithmus überprüft, um herauszufinden, ob und ab welchem Zeitpunkt Unterschiede zwi-

### Beteiligte am Projekt „VitTree“

Das Forschungsvorhaben „VitTree“ wurde von der Bayerischen Forstverwaltung finanziert und von einem deutsch-österreichischen Projektkonsortium, bestehend aus folgenden Partnern, durchgeführt:

- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF): Abteilung 1 Informationstechnologie: Adelheid Wallner, Alfred Wörle, Rudolf Seitz;
- Bayerische Staatsforsten AöR (BaySF): Abteilung Informationstechnologie, Bereich Informations- und Kommunikationstechnik: Matthias Frost, Bernhard Müller, Klaus Berneis;

- Österreichische Bundesforste (ÖBf AG): Dr. Monika Kanizan, Gernot Pichler;
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) – Abteilung Dynamik der Landoberfläche: Dr. Nicole Pinnel, Lea Henning, Anne Reichmuth, Andreas Müller;
- Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU): Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL): Dr. Markus Immitzer, Kathrin Einmann, Wai-Tim Ng, Christina Glas, Prof. Dr. Clement Atzberger.

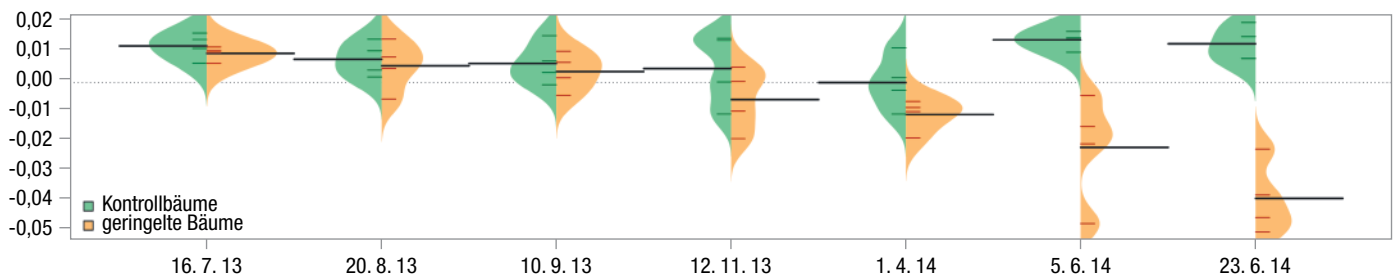


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf und Entwicklung eines Vegetationsindex (Photochemischer Reflexionsindex) des Nadeljahrgangs 2012. In dem Bean-Plot werden die beiden Gruppen geringelte Bäume und Kontrollbäume verglichen.

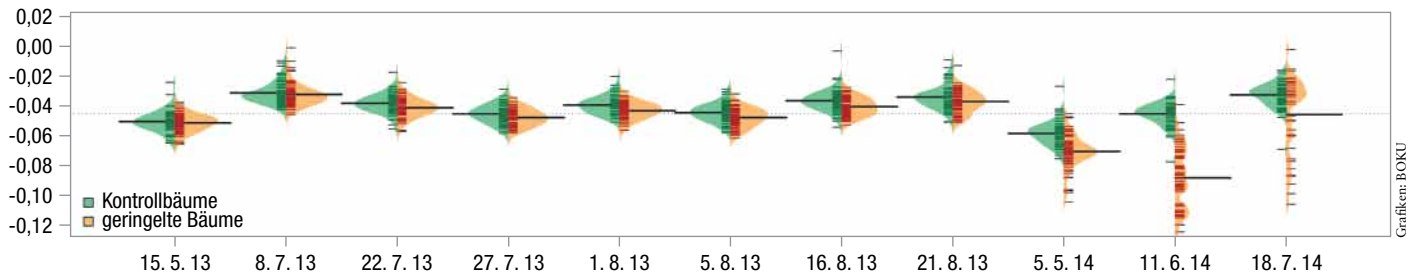


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf und Entwicklung eines Vegetationsindex (Photochemischer Reflexionsindex) der Baumkronenspektren. Im Bean-Plot werden die beiden Gruppen geringelte Bäume und Kontrollbäume verglichen.

schen den Spektren der beiden Gruppen (geringelte Bäume und Kontrollbäume) erkennbar sind.

### Ergebnisse

Elf Monate nach der Ringelung, bis zur Begehung am 22. Mai 2014, wurden keine größeren Veränderungen bezüglich Vergilbung und Nadelverlust bei den Kronenansprachen festgestellt. Bei den letzten beiden Feldbegehungen im Juni 2014 wurde bei mehreren (vorwiegend geringelten) Bäumen Borkenkäferbefall festgestellt. Daraufhin wurden alle befallenen Bäume entnommen und der Versuch beendet.

Die Analysen der im Labor gewonnenen Nadelspektren zeigten vor allem in den Daten der letzten beiden Probenahmen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen „geringelt“ und „Kontrolle“. Die zeitliche Veränderung ist vor allem bei der Betrachtung von Vegetationsindizes sichtbar. Vegetationsindizes sind mathematische Transformationen der Reflexionswerte mehrerer Spektralkanäle. Durch diese Kombination kommt es zu einer Steigerung der Aussagekraft bzw. sind direkte Rückschlüsse auf die Eigenschaften und den Zustand der Vegetation möglich. Jedoch lassen sich bereits bei den vorangegangenen Probenahmen die gestressten Bäume relativ gut von den Kontrollbäumen trennen (Abb. 3). In Abb. 5 sind die durch den Stress hervorgerufenen Veränderungen im Nadelspektrum dargestellt.

Ähnliche Ergebnisse wurden bei der Analyse der flugzeuggetragenen Hyperspektraldaten gefunden. Die Veränderung der Reflexionseigenschaften der gestressten Bäume gegenüber den Kontrollbäumen ist anhand eines Vegetationsindex in Abb. 4 dargestellt. Zu Beginn der Untersuchung sind die beiden Gruppen nicht trennbar, während bei den letzten Aufnahmen im Jahr 2014 deutliche Unterschiede auszumachen sind. 10,5 Monate nach der Ringelung, ab dem 5. Mai 2014, sind die Gruppen deutlich unterscheidbar. Die Klassifikationsmodelle bestätigen dieses Ergebnis. Zu diesem Zeitpunkt lassen sich die Gruppen, basierend auf den Spektren und Vegetationsindizes, mit 80 % Genauigkeit trennen. Bei den folgenden Befliegungen ist die Trennbarkeit noch besser und erreicht Werte über 90 %. Die durch den Stress hervorgerufene Veränderung im Reflexionsverhalten der Baumkrone ist in Abb. 6 durch die fernerkundlich erfassten Kronenspektren dargestellt. Die Kronen weisen insgesamt geringere Reflexionswerte auf als die im Labor erfassten Nadeln (Abb. 5), was auf die Kronenstruktur zurückzuführen ist. Der Reflexionsgrad ist somit eine Mischung aus der Reflexion der Nadeljahrgänge, der Äste und der Schattenbereiche innerhalb der Baumkrone. Das mittlere Spektrum der geringelten Bäume unterscheidet sich bei der Befliegung vom 18. Juli 2014 deutlich von jenen der Kontrollbäume sowohl im Spektralbereich des sichtbaren Lichts als

auch im Bereich des Nahen und Mittleren Infrarots. Zusammenfassend haben die verwendeten Hyperspektraldaten ein hohes Potenzial für die Detektion von bereits geringen Veränderungen im Reflexionsverhalten von Bäumen. Allerdings sind aufgrund der hohen Kosten derartige Daten nur eingeschränkt nutzbar.

Durch die sehr unterschiedlichen Aufnahmebedingungen der WorldView-2 Szenen (der Sensor ist schwenkbar) waren große Unterschiede in der Bildqualität der einzelnen Szenen bereits bei der visuellen Betrachtung feststellbar. Die einzelnen Bäume waren in den unterschiedlichen Szenen teilweise nur sehr schwer wiederzuerkennen bzw. zu lokalisieren. Dadurch waren die Einzelbaumanalysen nur bedingt möglich. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Aufnahmequalitäten wurden mit den WorldView-2-Daten keine viel versprechenden Ergebnisse erzielt. Die in den Hyperspektraldaten detektierten Veränderungen waren in den WorldView-2-Daten nicht erkennbar und so war auch in den letzten beiden Aufnahmen keine Trennung der beiden Gruppen anhand des Klassifikationsmodells möglich.

### Zusammenfassung

Die untersuchten Bäume hielten dem künstlich induzierten Stress (Ringelung) relativ lange stand. Sowohl die Kronenansprache als auch die Fernerkundungsdaten zeigten in der ersten Vegetationsperiode praktisch

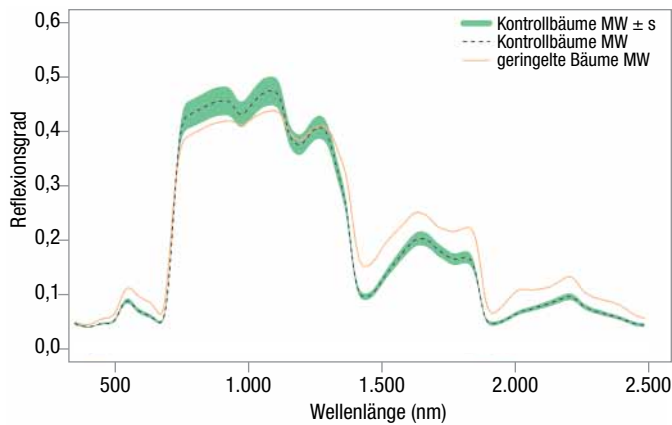


Abb. 5: Im Labor am 25. Juni 2014 gemessene, gemittelte Spektren des Nadeljahrgangs 2010 der Kontrollbäume (schwarz gestrichelte Linie) und der geringelten Bäume (orange Linie). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Streubereich der Kontrollbäume (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung).

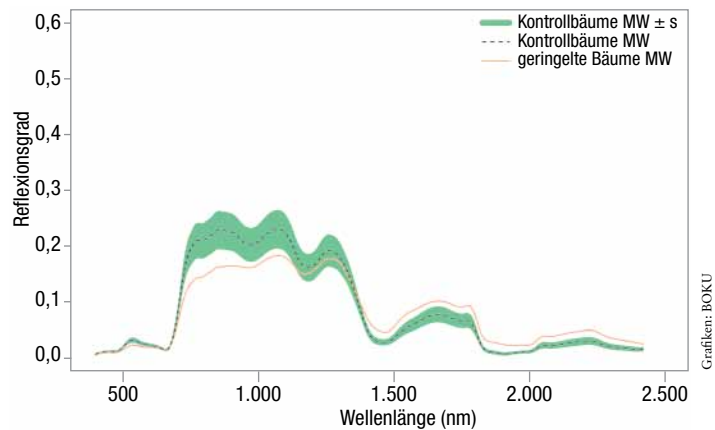


Abb. 6: Fernerkundlich mit einem flugzeuggetragenen Hyperspektralsensor am 18. Juli 2014 gemessene Baumkronenspektren der Kontrollbäume (schwarz gestrichelte Linie) und der geringelten Bäume (orange Linie). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Streubereich der Kontrollbäume (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung).

keine Veränderungen der künstlich gestressten Bäume. Bei den Nadelprobenahmen war jedoch bei den geringelten Bäumen teilweise ein erhöhter Nadelverlust zu beobachten, vor allem der älteren Nadeljahrgänge. Im zweiten Jahr wurde bei den geringelten Bäumen eine erhöhte Anfälligkeit für Borkenkäferbefall festgestellt. Vor allem bei diesen Bäumen konnten auch Veränderungen im Reflexionsverhalten festge-

stellt werden. Diese Veränderungen zeigten sich sowohl in den Nadel- als auch in den Baumkronenspektren und dies zu einem Zeitpunkt, bei denen bei den Felderhebungen in den Kronen feststellbar waren. Inwieweit die erkannten Veränderungen mit dem oftmals zusätzlichen Borkenkäferbefall zusammenhängen oder tatsächlich auf eine erhöhte Anfälligkeit/Prädisposition durch die künstliche Schwächung zurückzuführen sind, muss weiter untersucht werden. Auch wenn in dieser Studie mit den Satellitendaten keine zufrieden stellenden Ergebnisse erzielt wurden, sind derartige Daten durch ihre hohe zeitliche Auflösung und die gute räumliche Abdeckung nach wie vor von großem Interesse. Mit Satelliten wie z. B. Sentinel-2 stehen (bei wolkenfreien Bedingungen) alle fünf Tage kostenfreie Daten zur Verfügung. Allerdings ermöglicht die

räumliche Auflösung (10 m) keine einzelbaumbezogenen Analysen. Eine weitere interessante Alternative stellen die sehr flexibel einsetzbaren UAV-Systeme (Drohnen) dar, allerdings nur für kleinere Gebiete. Beide Ansätze sind Gegenstand aktueller Forschungsaktivitäten.

## Literaturhinweise:

[1] EINZMANN, K.; NG, W.; IMMITZER, M.; BACHMANN, M.; PINNELL, N.; ATZBERGER, C. (2014): Method analysis for collecting and processing in-situ hyperspectral needle reflectance data for monitoring Norway spruce. *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* (5): p. 423-434. [2] IMMITZER, M.; ATZBERGER, C. (2014): Early Detection of Bark Beetle Infestation in Norway Spruce (*Picea abies*, L.) using WorldView-2-Data. *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* (5): p. 351-367. [3] IMMITZER, M.; ATZBERGER, C.; KOUKAL, T. (2012): Eignung von WorldView-2-Satellitenbildern für die Baumartenklassifizierung unter besonderer Berücksichtigung der vier neuen Spektralkanäle. *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* (5): p. 573-588.

Dr. Markus Immitzer, markus.immitzer@boku.ac.at, ist Senior Scientist und Kathrin Einzmann wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL) der Universität für Bodenkultur Wien. Prof. Dr. Clement Atzberger leitet das IVFL. Dr. Nicole Pinnel ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Dynamik der Landoberfläche des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt (DLR). Rudolf Seitz leitet die Abteilung Informationstechnologie der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).

